

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-271453

(43) 公開日 平成11年(1999)10月8日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 1 T 1/00

G 0 1 T 1/00

B

審査請求 未請求 請求項の数21 F D (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平10-98410

(22) 出願日 平成10年(1998)3月25日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 日塔 光一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 高原 武

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

(72) 発明者 福田 幸洋

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

(74) 代理人 弁理士 波多野 久 (外1名)

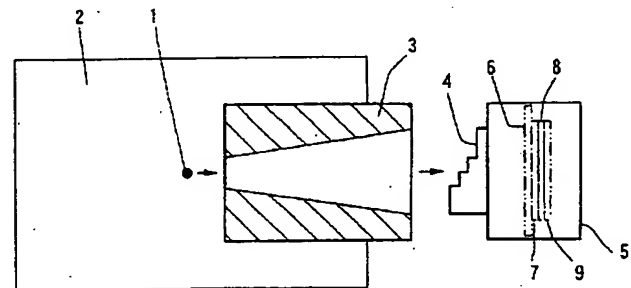
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放射線弁別測定方法および放射線弁別測定装置

(57) 【要約】

【課題】 測定対象物の内部を調査するために非破壊試験を行う際、測定対象物に放射して得られる放射線から、各個別の放射線として弁別するとともに、弁別した各放射線をタイムラグなしに、直接撮像して画像化できるようにする。シンチレータを構成する材料およびその厚さの改良により、撮像された画像のかぶりを補正して、高感度の画像を得ることができるようにする。

【解決手段】 放射線源から放射される放射線照射領域に、測定対象物4、第1のシンチレータ7、第2のシンチレータ8および第3のシンチレータ9を配置し、第1のシンチレータ7で第1の波長域の光線を発光させ、第2のシンチレータ8で第2の波長域の光線を、第3のシンチレータ9で第3の波長域の光線を発光させ、これら第1、第2および第3のシンチレータの発光を波長別に認識し、かつ補正し、放射線の種類に応じた測定を波長で弁別し、同時に測定することを特徴とする。



1 中性子源
2 モデレータ
3 コリメータ
4 測定対象物
5 撮像カセット

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 放射線源から放射される放射線照射領域に、測定対象物、第 1 のシンチレータ、第 2 のシンチレータおよび第 3 のシンチレータを配置し、第 1 のシンチレータでは、前記放射線源から放射される放射線を前記測定対象物に放射させて得られる放射線の種類 A、種類 B および種類 C に感応して第 1 の波長域の光線を発光させ、第 2 のシンチレータでは、前記第 1 のシンチレータで吸収されずに透過する放射線の種類 B および種類 C に感応して前記第 1 の波長域と異なる第 2 の波長域の光線を発光させ、第 3 のシンチレータでは、前記第 2 のシンチレータで吸収されずに透過する放射線の種類 C に感応して前記第 1 および前記第 2 の波長域と異なる第 3 の波長域の光線を発光させ、これら第 1、第 2 および第 3 のシンチレータの発光を波長別に認識し、前記第 1 のシンチレータのデータを第 2 および第 3 のシンチレータのデータで補正し、前記第 2 のシンチレータのデータを第 3 のシンチレータのデータで補正することにより放射線の種類に応じた測定を波長で弁別し、同時に測定することを特徴とする放射線弁別測定方法。

【請求項 2】 請求項 1 記載の放射線弁別測定方法において、放射線の種類 A を α 線、種類 B を β 線および種類 C を γ 線とし、第 1 のシンチレータに青色発光体、第 2 のシンチレータに赤色発光体および第 3 のシンチレータに緑色発光体を用い、 α 線、 β 線および γ 線を色弁別により同時に測定することを特徴とする放射線弁別測定方法。

【請求項 3】 請求項 1 記載の放射線弁別測定方法において、放射線の種類 A を β 線、種類 B を中性子線および種類 C を γ 線とし、第 1 のシンチレータに青色発光体、第 2 のシンチレータに赤色発光体および第 3 のシンチレータに緑色発光体を用い、 β 線、中性子線および γ 線を色弁別により同時に測定することを特徴とする放射線弁別測定方法。

【請求項 4】 請求項 2 または 3 記載の放射線弁別測定方法において、シンチレータの組合わせを変えて、第 1 のシンチレータに青色発光体、第 2 のシンチレータに緑色発光体、第 3 のシンチレータに赤色発光体、あるいは、第 1 のシンチレータから順番に、赤色、青色、緑色、または赤色、緑色、青色、または緑色、赤色、青色、または緑色、青色、赤色と組合わせを変えて用い、撮影結果を色の組合わせの違いで区別することを特徴とする放射線弁別測定方法。

【請求項 5】 請求項 2 から 4 までのいずれかに記載の放射線弁別測定方法において、青色発光のシンチレータとして、プラスチックシンチレータ、ガラスシンチレータまたは青色発光体の焼結体を用いることを特徴とする放射線弁別測定方法。

【請求項 6】 請求項 2 から 4 までのいずれかに記載の放射線弁別測定方法において、赤色発光のシンチレータ

として、ユーロピウム (Eu) またはクロム (Cr) で活性化したガドリニウム (Gd) を主成分とする赤色蛍光体の焼結体を用いることを特徴とする放射線弁別測定方法。

【請求項 7】 請求項 2 から 4 までのいずれかに記載の放射線弁別測定方法において、緑色発光のシンチレータとして、プラセオジウム (Pr) またはテルビウム (Tb) で活性化したガドリニウム (Gd) を主成分とする緑色蛍光体の焼結体を用いることを特徴とする放射線弁別測定方法。

【請求項 8】 請求項 5 から 7 までのいずれかに記載の放射線弁別測定方法において、シンチレータは、組合わせるシンチレータの発光波長を透過する構成としたことを特徴とする放射線弁別測定方法。

【請求項 9】 請求項 5 記載の放射線弁別測定方法において、青色蛍光体は、セリウムで活性化したアルミン酸イットリウム $YAlO_3 : Ce$ 、セリウムで活性化したケイ酸イットリウム $Y_2SiO_5 : Ce$ 、セリウムで活性化したケイ酸ガドリニウム $Gd_2SiO_5 : Ce$ 、ニオブで活性化したタンタル酸イットリウム $YTaO_4 : Nb$ 、ユーロピウムで活性化したフッ化塩化バリウム $BaFCl : Eu$ 、銀で活性化した硫化亜鉛 $ZnS : Ag$ 、タングステン酸カルシウム $CaWO_4$ 、タングステン酸カドミウム $CdWO_4$ 、タングステン酸亜鉛 $ZnWO_4$ 、またはタングステン酸マグネシウム $MgWO_4$ のうちのいずれかであることを特徴とする放射線弁別測定方法。

【請求項 10】 請求項 6 記載の放射線弁別測定方法において、赤色蛍光体は、ユーロピウムで活性化したホウ酸ガドリニウム $GdBO_3 : Eu$ 、ユーロピウムで活性化した酸化ガドリニウム $Gd_2O_3 : Eu$ 、ユーロピウムで活性化した酸硫化ガドリニウム $Gd_2O_2S : Eu$ 、ユーロピウムで活性化したアルミン酸ガドリニウム $Gd_3Al_5O_{12} : Eu$ 、ユーロピウムで活性化したガリウム酸ガドリニウム $Gd_3Ga_5O_{12} : Eu$ 、ユーロピウムで活性化したバナジン酸ガドリニウム $GdVO_4 : Eu$ 、およびセリウムまたはクロムで活性化したガリウム酸ガドリニウム $Gd_3Ga_5O_{12} : Ce$ 、Cr のうちのいずれかであることを特徴とする放射線弁別測定方法。

【請求項 11】 請求項 7 記載の放射線弁別測定方法において、緑色蛍光体は、テルビウムで活性化した酸化ガドリニウム $Gd_2O_3 : Tb$ 、テルビウムで活性化した酸硫化ガドリニウム $Gd_2O_2S : Tb$ 、プラセオジウムで活性化した酸硫化ガドリニウム $Gd_2O_2S : Pr$ 、テルビウムで活性化したガリウム酸ガドリニウム $Gd_3Ga_5O_{12} : Tb$ 、テルビウムで活性化したアルミン酸ガドリニウム $Gd_3Al_5O_{12} : Tb$ のうちのいずれかであることを特徴とする放射線弁別測定方法。

【請求項 12】 請求項 1 記載の放射線弁別測定方法に

において、放射線の種類 A を中性子、種類 B を X 線および種類 C を γ 線とし、中性子、X 線および γ 線を色弁別により同時に測定し、または放射線の種類 A を低エネルギー X 線、種類 B を中エネルギー X 線および種類 C を高エネルギー X 線または γ 線とし、X 線のエネルギー別または X 線と γ 線とを色弁別により同時に測定することを特徴とする放射線弁別測定方法。

【請求項 13】 放射線を放射する放射線源と、この放射線源から放射される放射線照射領域に、測定対象物とともに配置され、前記測定対象物を透過した放射線の種類 A、種類 B および種類 C に感応して第 1 の波長域の光線を発光する第 1 のシンチレータと、この第 1 のシンチレータで吸収されずに透過する放射線の種類 B および種類 C に感応して前記第 1 の波長域と異なる第 2 の波長域の光線を発光する第 2 のシンチレータと、この第 2 のシンチレータで吸収されずに透過する放射線の種類 C に感応して前記第 1 および前記第 2 の波長域と異なる第 3 の波長域の光線を発光する第 3 のシンチレータとを備え、これら第 1、第 2 および第 3 のシンチレータの発光を波長別に認識し、前記第 1 のシンチレータのデータを第 2 および第 3 のシンチレータのデータで補正し、前記第 2 のシンチレータのデータを第 3 のシンチレータのデータで補正することにより放射線の種類に応じた測定を波長で弁別し、同時に測定する撮像手段を設けたことを特徴とする放射線弁別測定装置。

【請求項 14】 請求項 13 記載の放射線弁別測定装置において、撮像手段として、波長別に認識して記録するカラーフィルムを備えたことを特徴とする放射線弁別測定装置。

【請求項 15】 請求項 13 記載の放射線弁別測定装置において、撮像手段として、波長別に認識して観測する CCD カメラまたは撮像管などの光検出器を備えたことを特徴とする放射線弁別測定装置。

【請求項 16】 請求項 13 記載の放射線弁別測定装置において、光検出器を単色の CCD カメラまたは撮像管として波長別に複数備えるとともに、各シンチレータの発光波長を分離するためのダイクロイックミラーを備えたことを特徴とする放射線弁別測定装置。

【請求項 17】 請求項 14 から 16 までのいずれかに記載の放射線弁別測定装置において、撮像手段として、カラーフィルム、CCD カメラあるいは撮像管をシンチレータから離して設置し、前記カラーフィルム、前記 CCD カメラあるいは前記撮像管と前記シンチレータとの間に前記シンチレータの信号を伝送させる光ファイバを備えたことを特徴とする放射線弁別測定装置。

【請求項 18】 請求項 15 から 17 までのいずれかに記載の放射線弁別測定装置において、光ファイバに代え、または光ファイバとともに、もしくは CCD カメラまたは撮像管に付随させて、シンチレータの信号を増幅して感度を高めるためのイメージンシフファイバを

備えたことを特徴とする放射線弁別測定装置。

【請求項 19】 請求項 13 記載の放射線弁別測定装置において、撮像手段には、カラーフィルムと第 1、第 2 および第 3 のシンチレータとを共に収納する一体型のフィルム着脱可能な撮像カセットを備えたことを特徴とする放射線弁別測定装置。

【請求項 20】 請求項 14 記載の放射線弁別測定装置において、第 1 または第 2 のシンチレータに、それぞれ赤色発光または緑色発光の熱中性子用のシンチレータを適用し、かつ前記第 1 のシンチレータと前記第 2 のシンチレータとの間に水素を含有する物質を設置し、前記第 1 のシンチレータで発光した熱中性子と前記第 2 のシンチレータで発光した速中性子とを発光波長別に同時に測定する構成としたことを特徴とする放射線弁別測定装置。

【請求項 21】 伝送用の複数本の光ファイバと、この各光ファイバに取り付けられた波長別に発光するシンチレータと、このシンチレータの周りに目的とする放射線以外に対して設置された遮蔽材とから構成され、前記各光ファイバが直列あるいは並列に結合して構成されることを特徴とする放射線弁別測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、原子力産業、放射線医療および放射能取扱施設などの放射性物質を取り扱う産業および研究機関において適用されるものであり、 α 線、 β 線、X 線、 γ 線あるいは中性子線のいずれかが混在している放射線から、各放射線を弁別かつ測定し、非破壊試験を行える放射線弁別測定方法および放射線弁別測定装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 放射線が物質を透過する際には、その構成物質の種類もしくは形状によって吸収および散乱が異なってくる。これを映像として写真やビデオ、デジタルファイル等として記録すれば、物質の破損状態、変化および充填状況等を把握することができる。これは一般にレントゲン写真で人体の内部状態を診察するのと同様の原理である。測定したい物体あるいは試料を破壊せずに内部の状態を測定する方法は、ラジオグラフィまたは非破壊放射線撮影法と呼ばれている。

【0003】 従来からこのようなラジオグラフィとして、放射線のなかでも X 線あるいは γ 線を用いたものが良く知られている。X 線あるいは γ 線は、物をよく透過し軽い物ほど透過しやすいので、物体の内部のようすを調べるのに利用されている。しかし、X 線あるいは γ 線では軽い物ほど透過しやすいために、原子番号が小さい元素である軽元素を良く透過してしまうことから、金属材料中に隠された水素含有物質等を検査するのは困難であった。また、X 線あるいは γ 線では、硼（ほう）素と炭素のように原子番号が隣接した元素のように、微量の

差を識別することは困難であった。

【0004】一方、X線あるいは γ 線のかわりに中性子を用いたラジオグラフィが利用されている。このラジオグラフィでは、中性子の吸収が原子番号には依存せず、また重たい物質中をも透過するため、X線あるいは γ 線では識別できなかった、金属中の軽元素の識別を行うことができる。また、中性子に対する吸収もしくは散乱断面積の値は、各元素によって固有であり、例えば、硼素に対しては中性子の吸収量が多いが、炭素に対しては多くない。このため、中性子を利用して軽元素までを識別する非破壊検査が行われるようになった。

【0005】現在では、このようなX線あるいは γ 線を用いたラジオグラフィおよび中性子を用いたラジオグラフィの長所を生かして、両者を併用したラジオグラフィが用いられており、具体的には、火工品等の非破壊検査を行なっている。このX線、 γ 線あるいは中性子を併用したラジオグラフィによれば、同一試料についてそれぞれ異なったX線、 γ 線あるいは中性子による検査という2回の操作が必要となるため、測定時間および操作の面で煩雑であった。

【0006】このような欠点を解消する方法として、例えば、特開昭58-1,13842号公報等に掲載されているように、カリホルニウム Cf_{252} を中性子源と γ 線源として用い、 γ 線画像検出器と中性子画像検出器とを並設させ、これらの各検出器にフィルムをセットして同時に画像を記録するという同時ラジオグラフィ手法が提案されている。しかし、このような方法においても、記録される画像であるフィルムが2枚になってしまうため、正確な位置合わせおよび画像処理上の煩雑さを有していた。

【0007】さらに、この同時ラジオグラフィ手法を改良して、例えば、特開昭61-184444号公報等に掲載されているように、色別で γ 線画像と中性子画像とを測定する方法が提案されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記のような方法によれば、色別で γ 線画像と中性子画像とを測定できる点において優れていたが、以下に示すような問題を有していた。

【0009】上述した特開昭61-184444号公報における同時ラジオグラフィでは、1枚のフィルム上に赤色発光の γ 線画像用のシンチレータと中性子用の青色あるいは緑色発光のシンチレータとを組み合わせ、色別で γ 線画像と中性子画像とを測定している。

【0010】実際には、 γ 線画像用のシンチレータとして、赤色光を発する蛍光材を重金属板上に塗布または蒸着したものを用いる。一方、中性子用のシンチレータとして、リチウム(Li-6)あるいはボロン(B-10)を含む物質に、青色または緑色で発光する蛍光材を混合または塗布あるいは蒸着したものを、中性子は

リチウムまたはボロンと(n, α)反応を起こし、これにより生じたアルファ(α)線によって青色発光蛍光材が青色に発色される。なお、この青色発光蛍光材として、蛍光体に銀で活性化した硫化亜鉛 $ZnS:Ag$ を用いている。

【0011】このように、1枚のフィルム上に中性子ラジオグラフィを青色で記録し、X線あるいは γ 線ラジオグラフィを赤色で記録して色弁別する方法では、X線および γ 線によるかぶりを補正することが可能であった。またこの方法では、上記した銀で活性化した硫化亜鉛 $ZnS:Ag$ と組み合わせた蛍光材を用いることにより、X線あるいは γ 線に対してかぶる量が少ないという長所を有していたが、感度を十分に満足するものではなかった。

【0012】また、使用するシンチレータは、 γ 線と中性子との互いの波長に対して透過する材料から構成されていないため、 γ 線画像用のシンチレータと中性子用のシンチレータとの間にフィルムを挟む構成とし、シンチレータを配置しなければならなかった。このため3つのシンチレータを配置して、3色以上の組み合わせの発光を行わせるのは実質上難しかった。

【0013】さらに、フィルムをはさんで配置する場合には、一般のカラーフィルムではハレーション防止層があり、裏面からの光は正確に記録されない。このため特殊なカラーフィルムを使用しなければならず、コスト的に高くなるという問題を有していた。

【0014】また、一方において、近年、中性子における感度を向上させる方法が開発されており、例えば、特開平4-290985号公報等に掲載されているように、従来のリチウム(Li-6)またはボロン(B-10)を用いたタイプに比べて、中性子に対する感度を高めた中性子用のイメージングプレートが開発されている。これは、電子線および放射線などの照射後、熱および光などの刺激で発光する現象である、蛍光体の輝尽発光を利用して開発されたものであり、このイメージングプレートは、輝尽蛍光体を塗布したものから構成される。具体的にこのイメージングプレートは、中性子との反応にガドリニウム(Gd)を用い、付活剤にプラセオジム(Pr)、テルビウム(Tb)あるいはユウロピウム(Eu)を含有した焼結体からなるものである。

【0015】上記したイメージングプレートは、さらに改良が進み、X線用のイメージングプレートおよび中性子と反応するリチウム(Li-6)と、ボロン(B-10)またはガドリニウム(Gd)とからなる中性子用のイメージングプレートを組み合わせたものも開発されている。

【0016】このような中性子用のイメージングプレートは、輝尽性蛍光体を用い電離放射線による信号をカラーセンサとして捕獲記憶し、読取り器のレーザー光で蛍光を発光させて画像化するものであるため、中性子に

対する感度が高く、明るいところで作業できる点で優れているが、中性子照射後に読取り作業を別に行わなくてはならない点でリアルタイム性において問題がある。またこの技術は、元々X線用に開発されたものであるため、X線およびγ線に対する感度が高く、中性子画像にX線およびγ線の画像がかぶり区別できないという問題を有していた。この場合においても、中性子を遮断して、X線やγ線の画像を別に撮って画像処理しなければならないが、このような方法は、未だに開発されていないのが現状であった。

【0017】本発明は、これらの問題を解決するためになされたものであり、測定対象物の内部を調査するために非破壊試験を行う際、測定対象物に放射して得られる放射線に含まれるα線、β線、γ線、中性子線およびX線などのいずれかから構成される放射線から、各個別の放射線として弁別するとともに、弁別した各放射線をタイムラグなしに、直接撮像して画像化できる放射線弁別測定装置を提供することを目的とする。

【0018】また、シンチレータを構成する材料およびその厚さの改良により、撮像された画像のかぶりを補正して、高感度の画像を得ることができる放射線弁別測定方法を提供することを目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の放射線弁別測定方法は、放射線源から放射される放射線照射領域に、測定対象物、第1のシンチレータ、第2のシンチレータおよび第3のシンチレータを配置し、第1のシンチレータでは、前記放射線源から放射される放射線を前記測定対象物に放射させて得られる放射線の種類A、種類Bおよび種類Cに感応して第1の波長域の光線を発光させ、第2のシンチレータでは、前記第1のシンチレータで吸収されずに透過する放射線の種類Bおよび種類Cに感応して前記第1の波長域と異なる第2の波長域の光線を発光させ、第3のシンチレータでは、前記第2のシンチレータで吸収されずに透過する放射線の種類Cに感応して前記第1および前記第2の波長域と異なる第3の波長域の光線を発光させ、これら第1、第2および第3のシンチレータの発光を波長別に認識し、前記第1のシンチレータのデータを第2および第3のシンチレータのデータで補正し、前記第2のシンチレータのデータを第3のシンチレータのデータで補正することにより放射線の種類に応じた測定を波長で弁別し、同時に測定することを特徴とする。

【0020】本発明においては、放射線の種類A、BおよびCのそれぞれに対して、各異なる発光波長のシンチレータを組合わせて用いている。特に第1のシンチレータは、放射線Aに対して感度が高くなるように設計する。しかし、第1のシンチレータでは、厳密に放射線の種類Bおよび種類Cにも感度があるため、多少放射線の種類Bおよび種類Cがかぶった結果が得られる。そこ

で、第1のシンチレータは放射線Aがほぼ100%止められるシンチレータの厚さにする。例えば、放射線の種類Aがα線であればシンチレータの厚さは数μmで良く、β線の場合でも数十μmの厚さがあれば止めることができる。また第2のシンチレータは、第1のシンチレータで透過する放射線の種類Bおよび種類Cに対して、特に放射線の種類Bに対して感度を高くするように設計する。例えば、放射線の種類Bがβ線あるいは後に示す中性子線であれば、シンチレータの厚さを数十μmとすれば十分であり、逆にこのシンチレータを厚くすると、X線およびγ線に対する感度が高くなってしまう。最後に、第2のシンチレータで止められずに透過する放射線の種類Cに対して、感度が高くなるように第3のシンチレータを設計する。但し、放射線の種類Cは第1のシンチレータ、第2のシンチレータおよび第3のシンチレータを通ってくるため、特に第3のシンチレータを厚くしてしまうと、幾何学的ぼけが生じて解像度が悪くなる。できれば第3のシンチレータとしては、薄くてγ線に対して感度の高いものを使う方が良い。第2および第3のシンチレータは、第1、第2および第3の発光波長に対して十分透過することが条件である。シンチレータで発光した光を発光波長毎に記録または観測し、色別の画像情報からそれぞれのかぶりを補正して純粋な放射線による信号を取り出す。例えば、第1のシンチレータで発光した色が青色の場合には、青色の信号の中には主に放射線Aの情報が含まれているが、放射線Bおよび放射線Cの情報も含まれている。また、第2のシンチレータの発光が赤色とすると主に放射線Bおよび放射線Cの情報が得られる。

【0021】一般にカラーテレビ等のカラー信号は、RGBと言うR：赤、G：緑、B：青の信号として情報が読取られ表示される。従って、RGBそれぞれの信号として見ることにについては、特に画像処理せずに見ることができる。但し、一般的にそれぞれのシンチレータの感度と計測環境下での放射線の種類に対する割合は一定ではないので補正することが必要になる。補正の仕方は、第3のシンチレータで得られた情報は放射線Cだけの情報であるため、第2のシンチレータから得られた情報から第3のシンチレータの情報を引いて放射線Bのみの情報を得る。第1のシンチレータの情報には放射線A、BおよびCの3つの情報が含まれているので、まず第1のシンチレータの情報から第2のシンチレータの情報（放射線B、C）を引く。この結果、放射線Bの情報を第1のシンチレータの情報から消すことができる。しかし同時に放射線Cの情報も消されることになる。このため放射線Cの情報を引きすぎた場合には、第3のシンチレータから得られた放射線Cのみの情報で補正することができる。また、一度校正用のインジケータなどで測定しておくことにより、次からは同時に放射線の種類A、BおよびCについてのそれぞれの情報を見ることが可能にな

る。

【0022】従って本発明によれば、第1、第2および第3のシンチレータで得られた情報からかぶりを補正することにより、正確な情報を得ることができる。

【0023】請求項2記載の放射線弁別測定方法は、請求項1記載の放射線弁別測定方法において、放射線の種類Aを α 線、種類Bを β 線および種類Cを γ 線とし、第1のシンチレータに青色発光体、第2のシンチレータに赤色発光体および第3のシンチレータに緑色発光体を用い、 α 線、 β 線および γ 線を色弁別により同時に測定することを特徴とする。

【0024】放射線の種類による物質中での飛程の長さ、 α 線より β 線、 β 線より γ 線の方が長くなる。従って、放射線の入射側からシンチレータの厚さを薄くして、また、後述するように薄いシンチレータを十分に止められるように工夫している。逆の場合、放射線の種類A、BおよびCから順に、 γ 線、 β 線および α 線とすると、即ち、第1のシンチレータで γ 線用に最適化すると、 β 線および α 線が止まってしまい、第2のシンチレータ以降の意味がなくなり放射線の種類による波長弁別

ができなくなってしまう。

【0025】従って本発明において、放射線の入射側からシンチレータの厚さを薄くすることにより、 α 線、 β 線および γ 線を色弁別により同時に測定することができる。

【0026】請求項3記載の放射線弁別測定方法は、請求項1記載の放射線弁別測定方法において、放射線の種類Aを β 線、種類Bを中性子線および種類Cを γ 線とし、第1のシンチレータに青色発光体、第2のシンチレータに赤色発光体および第3のシンチレータに緑色発光体を用い、 β 線、中性子線および γ 線を色弁別により同時に測定することを特徴とする。

【0027】本発明においては、放射線の種類から α 線を除いた場合について示しており、放射線の種類A、BおよびCから順番に β 線、中性子線および γ 線としている。中性子線は γ 線に対して飛程が短いわけではないが、中性子の吸収が大きいガドリニウム(Gd)をシンチレータとして用いた場合に、ガドリニウムと中性子とが(n, γ)反応して電子線が出る。ガドリニウムの場合、数十 μ mで熱中性子はほぼ100%止められる。また、この電子線の飛程は十数 μ m程度であるので、数十 μ mであれば蛍光体を電子線で発光させるには十分である。このため、この放射線の組合わせを工夫することで、 γ 線に対しても感度の高いガドリニウムを主材とした別の発光波長のシンチレータを使うことができるようになる。

【0028】従って本発明においも、 β 線、中性子線および γ 線を色弁別により同時に測定することができる。

【0029】請求項4記載の放射線弁別測定方法は、請求項2または3記載の放射線弁別測定方法において、シ

ンチレータの組合わせを変えて、第1のシンチレータに青色発光体、第2のシンチレータに緑色発光体、第3のシンチレータに赤色発光体、あるいは、第1のシンチレータから順番に、赤色、青色、緑色、または赤色、緑色、青色、または緑色、赤色、青色、または緑色、青色、赤色と組合わせを変えて用い、撮影結果を色の組合わせの違いで区別することを特徴とする。

【0030】本発明において、第2のシンチレータの発光を赤色、第3のシンチレータの発光を緑色としても、その逆でも実質的には変わりが無い。従って、測定するときに応じ、発光体を逆にして使うことにより、使用条件および使用場所での違いを色の組合わせの違いとしてあらわすことができる。例えば、イの場所では中性子が赤色、 γ 線が緑色で記録され、ロの場所では中性子が緑色、 γ 線が赤色で記録される。従って本発明によれば、後でデータが混在した場合においてもどこで得られた結果なのか色の組合わせで区別できるようになり、整理しやすくなる。

【0031】請求項5記載の放射線弁別測定方法は、請求項2から4までのいずれかに記載の放射線弁別測定方法において、青色発光のシンチレータとして、プラスチックシンチレータ、ガラスシンチレータまたは青色発光体の焼結体を用いることを特徴とする。

【0032】本発明によれば、青色発光のシンチレータとしてプラスチックシンチレータ、ガラスシンチレータまたは青色発光体の焼結体を用い、かつ厚さを薄くするように工夫することで、第1のシンチレータの発光を青色とすることができ、また、 α 線および β 線に対する感度を十分得ることができる。

【0033】請求項6記載の放射線弁別測定方法は、請求項2から4までのいずれかに記載の放射線弁別測定方法において、赤色発光のシンチレータとして、ユウロピウム(Eu)またはクロム(Cr)で活性化したガドリニウム(Gd)を主成分とする赤色蛍光体の焼結体を用いることを特徴とする。

【0034】本発明においては、赤色発光のシンチレータの感度を高めて、シンチレータの厚さを薄くする工夫として、特に熱中性子に対して吸収断面積の大きいガドリニウム(Gd)を主成分とした蛍光体を選択して用いている。また、熱中性子との(n, γ)反応に伴って放出される電子線により赤色に発光するために付活剤としてユウロピウム(Eu)あるいはクロム(Cr)を選択して用いている。

【0035】従来、例えば、青色発光のシンチレータとしてボロン(B)およびリチウム(Li)が熱中性子との反応の主材として用いられていたが、共に熱中性子との反応は(n, α)反応に伴って放出される α 線により蛍光体を発光させていた。 α 線の飛程は γ 線と比較して短いため、青色発光のシンチレータの厚さを薄くできると考えられるが、このボロンおよびリチウムを主材とす

る青色発光のシンチレータは、本発明におけるガドリニウムと比べて吸収断面積が小さいため、シンチレータの厚さを薄くすると感度が低くなってしまふ。このため、従来の材料ではシンチレータの厚さを薄くすることができなかった。また、第2のシンチレータとして使う場合には、中性子線を完全に止めることができなかった。

【0036】従って本発明によれば、赤色発光のシンチレータとして、ガドリニウム(Gd)を主成分とする赤色蛍光体の焼結体を用いることにより、シンチレータの厚さを薄くすることができ、また中性子線を完全に止めることが可能となる。

【0037】請求項7記載の放射線弁別測定方法は、請求項2から4までのいずれかに記載の放射線弁別測定方法において、緑色発光のシンチレータとして、プラセオジム(Pr)またはテルビウム(Tb)で活性化したガドリニウム(Gd)を主成分とする緑色蛍光体の焼結体を用いることを特徴とする。

【0038】基本的に、シンチレータが厚くなると測定被写体と記録用の受光面との距離が離れて幾何学的なばけが多くなるが、シンチレータがX線およびγ線用である場合に、本発明によるガドリニウム(Gd)を主成分とした蛍光体を用いることにより、特に原子番号が大きいことからX線およびγ線の相互作用を起こしやすく、シンチレータが薄くても感度を上げられるため、上記のような材料の蛍光体を用いた。

【0039】また、中性子用に用いた赤色発光シンチレータと緑色発光シンチレータとを合わせて置くことで、赤色発光成分にかぶったX線およびγ線の成分をほぼ同じ感度で補正できるため、本発明においてガドリニウム(Gd)を主成分とした蛍光体を用いた。

【0040】さらに、前述した請求項4記載の発明とも関係するが、赤色発光シンチレータと緑色発光シンチレータとを入れ替えても同様に使用でき、前段落で示した中性子用としても組み替えて使用できるため、本発明においてガドリニウム(Gd)を主成分とした蛍光体を用いた。なお、赤色発光シンチレータと緑色発光シンチレータとを入れ替えた場合、緑色が熱中性子線による結果で、赤色がγ線の結果となる。

【0041】請求項8記載の放射線弁別測定方法は、請求項5から7までのいずれかに記載の放射線弁別測定方法において、シンチレータは、組合わせるシンチレータの発光波長を透過する構成としたことを特徴とする。

【0042】本発明において、組合わせてシンチレータを用いた場合においても、発光波長を透過する構成とすることにより、放射線を弁別して測定することができる。

【0043】請求項9記載の放射線弁別測定方法は、請求項5記載の放射線弁別測定方法において、青色蛍光体は、セリウムで活性化したアルミン酸イットリウム $YAlO_3:Ce$ 、セリウムで活性化したケイ酸イットリウ

$Y_2SiO_5:Ce$ 、セリウムで活性化したケイ酸ガドリニウム $Gd_2SiO_5:Ce$ 、ニオブで活性化したタンタル酸イットリウム $YTaO_4:Nb$ 、ユーロピウムで活性化したフッ化塩化バリウム $BaFCl:Eu$ 、銀で活性化した硫化亜鉛 $ZnS:Ag$ 、タングステン酸カルシウム $CaWO_4$ 、タングステン酸カドミウム $CdWO_4$ 、タングステン酸亜鉛 $ZnWO_4$ 、またはタングステン酸マグネシウム $MgWO_4$ のうちのいずれかであることを特徴とする。

【0044】本発明によれば、青色蛍光体として上記した各種材料を適用することができる。

【0045】請求項10記載の放射線弁別測定方法は、請求項6記載の放射線弁別測定方法において、赤色蛍光体は、ユーロピウムで活性化したホウ酸ガドリニウム $GdBO_3:Eu$ 、ユーロピウムで活性化した酸化ガドリニウム $Gd_2O_3:Eu$ 、ユーロピウムで活性化した酸硫化ガドリニウム $Gd_2O_2S:Eu$ 、ユーロピウムで活性化したアルミン酸ガドリニウム $Gd_3Al_5O_{12}:Eu$ 、ユーロピウムで活性化したガリウム酸ガドリニウム $Gd_3Ga_5O_{12}:Eu$ 、ユーロピウムで活性化したバナジン酸ガドリニウム $GdVO_4:Eu$ 、およびセリウムまたはクロムで活性化したガリウム酸ガドリニウム $Gd_3Ga_5O_{12}:Ce, Cr$ のうちのいずれかであることを特徴とする。

【0046】本発明によれば、赤色蛍光体として上記した各種材料を適用することができる。

【0047】請求項11記載の放射線弁別測定方法は、請求項7記載の放射線弁別測定方法において、緑色蛍光体は、テルビウムで活性化した酸化ガドリニウム $Gd_2O_3:Tb$ 、テルビウムで活性化した酸硫化ガドリニウム $Gd_2O_2S:Tb$ 、プラセオジムで活性化した酸硫化ガドリニウム $Gd_2O_2S:Pr$ 、テルビウムで活性化したガリウム酸ガドリニウム $Gd_3Ga_5O_{12}:Tb$ 、テルビウムで活性化したアルミン酸ガドリニウム $Gd_3Al_5O_{12}:Tb$ のうちのいずれかであることを特徴とする。

【0048】本発明においても、緑色蛍光体として上記した各種材料を適用することができる。

【0049】請求項12記載の放射線弁別測定方法は、請求項1記載の放射線弁別測定方法において、放射線の種類Aを中性子、種類BをX線および種類Cをγ線とし、中性子、X線およびγ線を色弁別により同時に測定し、または放射線の種類Aを低エネルギーX線、種類Bを中エネルギーX線および種類Cを高エネルギーX線またはγ線とし、X線のエネルギー別またはX線とγ線とを色弁別により同時に測定することを特徴とする。

【0050】本発明においては、α線、β線およびγ線などの放射線だけでなく、X線のエネルギー別に、色弁別により同時に測定することができる。

【0051】請求項13記載の放射線弁別測定装置は、

放射線を放射する放射線源と、この放射線源から放射される放射線照射領域に、測定対象物とともに配置され、前記測定対象物を透過した放射線の種類 A、種類 B および種類 C に感応して第 1 の波長域の光線を発光する第 1 のシンチレータと、この第 1 のシンチレータで吸収されずに透過する放射線の種類 B および種類 C に感応して前記第 1 の波長域と異なる第 2 の波長域の光線を発光する第 2 のシンチレータと、この第 2 のシンチレータで吸収されずに透過する放射線の種類 C に感応して前記第 1 および前記第 2 の波長域と異なる第 3 の波長域の光線を発光する第 3 のシンチレータとを備え、これら第 1、第 2 および第 3 のシンチレータの発光を波長別に認識し、前記第 1 のシンチレータのデータを第 2 および第 3 のシンチレータのデータで補正し、前記第 2 のシンチレータのデータを第 3 のシンチレータのデータで補正することにより放射線の種類に応じた測定を波長で弁別し、同時に測定する撮像手段を設けたことを特徴とする。

【0052】本発明による構成により、上述した放射線弁別測定を実施することができる。

【0053】請求項 1 4 記載の放射線弁別測定装置は、請求項 1 3 記載の放射線弁別測定装置において、撮像手段として、波長別に認識して記録するカラーフィルムを備えたことを特徴とする。

【0054】本発明において、波長毎に発光した信号を記録する撮像手段として、カラーフィルムを用いて 1 枚のフィルムに記録する構成としている。従来のフィルム法を用いた方法では、工業用の X 線フィルムが感度および画質の分解能の観点から用いられていたが、単色であったため記録したフィルムから波長成分を分割して読み取ることができなかった。また、工業用の X 線フィルムではフィルム面に乳剤が塗られている面がベースフィルムに対して片側と両側とにある。従って、シンチレータに対して逆にセットしても記録されるが、一般のカラーフィルムの場合には、発光色の異なるシンチレータをフィルムに対して挟むような使い方はできない。そこで後述するように、第 2 および第 3 のシンチレータで発光した波長を透過するような構成とされている。なお、このことは以下に示す請求項 1 1 以降に記載のカメラ等の受光素子を用いた場合でも共通にいうことである。

【0055】請求項 1 5 記載の放射線弁別測定装置は、請求項 1 3 記載の放射線弁別測定装置において、撮像手段として、波長別に認識して観測する CCD カメラまたは撮像管などの光検出器を備えたことを特徴とする。

【0056】請求項 1 6 記載の放射線弁別測定装置は、請求項 1 3 記載の放射線弁別測定装置において、光検出器を単色の CCD カメラまたは撮像管として波長別に複数備えるとともに、各シンチレータの発光波長を分離するためのダイクロイックミラーを備えたことを特徴とする。

【0057】請求項 1 5 および 1 6 記載の発明では、シ

ンチレータで発光した複数の異なる波長をカラーフィルムの変わりに、光検出器としての CCD カメラまたは撮像管を用いて直接観測できるように構成したものである。特に、単色の CCD カメラまたは撮像管を用いた場合には、シンチレータで発光する波長に合わせて透過率と反射率とを最適にしたダイクロイックミラーを備えた構成としている。これにより効率的に波長を識別して観測することができる。なお、光検出器をよりシンプルにする場合には、3 板式 CCD カメラまたは 3 管式カメラを備えるとよい。

【0058】請求項 1 7 記載の放射線弁別測定装置は、請求項 1 4 から 1 6 までのいずれかに記載の放射線弁別測定装置において、撮像手段として、カラーフィルム、CCD カメラあるいは撮像管をシンチレータから離して設置し、前記カラーフィルム、前記 CCD カメラあるいは前記撮像管と前記シンチレータとの間に前記シンチレータの信号を伝送させる光ファイバを備えたことを特徴とする。

【0059】本発明においては、発光したシンチレータとフィルム等の記録媒体、カメラおよび光電子増倍管等の観測装置との間に光ファイバを設置して、光の信号により伝送する構成とすることで、光検出器との距離を離して設置できる。特に、テーパファイバーを設置して、直接カメラの受光素子と密着させればレンズ等の光学結像素子等を使用しなくても良い。

【0060】請求項 1 8 記載の放射線弁別測定装置は、請求項 1 5 から 1 7 までのいずれかに記載の放射線弁別測定装置において、光ファイバに代え、または光ファイバとともに、もしくは CCD カメラまたは撮像管に付随させて、シンチレータの信号を増幅して感度を高めるためのイメージインテンシファイヤを備えたことを特徴とする。

【0061】本発明において、シンチレータと光検出器との間にイメージインテンシファイヤおよびマイクロチャネルプレートを使用することにより、弱い発光の光信号を増幅して感度を上げることができる。また、光ファイバと組み合わせて信号伝送ロスを少なくすることができる。マイクロチャネルプレート等で増幅する場合に増幅した後の蛍光体に赤色発光体を用いることで、CCD カメラを用いた場合に CCD カメラの波長感度特性（700 nm 付近が感度ピーク）とマッチングが良くなり感度がさらに向上する。

【0062】請求項 1 9 記載の放射線弁別測定装置は、請求項 1 4 記載の放射線弁別測定装置において、撮像手段には、カラーフィルムと第 1、第 2 および第 3 のシンチレータとを共に収納する一体型のフィルム着脱可能な撮像力カセットを備えたことを特徴とする。

【0063】本発明において、カラーフィルムを多色発光のシンチレータと一緒に遮光できる撮像力カセットに収納して一体型とし、フィルムを着脱できる構成として

ある。これにより従来中性子用に別にされていたフィルムを一つにまとめることにより、別々に現像する必要がなくなる。

【0064】請求項20記載の放射線弁別測定装置は、請求項13記載の放射線弁別測定装置において、第1または第2のシンチレータに、それぞれ赤色発光または緑色発光の熱中性子用のシンチレータを適用し、かつ前記第1のシンチレータと前記第2のシンチレータとの間に水素を含有する物質を設置し、前記第1のシンチレータで発光した熱中性子と前記第2のシンチレータで発光した速中性子とを発光波長別に同時に測定する構成としたことを特徴とする。

【0065】本発明においては、第1および第2のシンチレータに赤色発光または緑色発光の熱中性子用のシンチレータを用い、第1のシンチレータと第2のシンチレータとの間に水素を含む樹脂を入れて、第1のシンチレータで発光した熱中性子と第2のシンチレータで発光した速中性子とを発光波長別に同時に測定する構成としている。この時、第1のシンチレータではほぼ100%熱中性子を吸収するようにシンチレータの厚さを決める。例えば、上述したように、熱中性子吸収体としてガドリニウム(Gd)を主成分としたシンチレータでは、数十μmの厚さで十分である。速中性子はこの第1のシンチレータでは吸収されずに透過する。そこで水素を含む樹脂で速中性子を減速させて熱中性子化し、第2の熱中性子用シンチレータで発光させる構成としてある。

【0066】請求項21記載の放射線弁別測定装置は、伝送用の複数の光ファイバと、この各光ファイバに取り付けられた波長別に発光するシンチレータと、このシンチレータの周りに目的とする放射線以外に対して設置された遮蔽材とから構成され、前記各光ファイバが直列あるいは並列に結合して構成されることを特徴とする。

【0067】本発明においては、シンチレータを一つにまとめて一個所から発光させて測定するという構成ではなく、波長別に発光するシンチレータを個別に光ファイバに取り付けた構成としている。個々のシンチレータの周りには目的とする放射線以外に対して遮蔽材を設け、更に伝送用の光ファイバを直列または並列に結合させて、放射線の種類を色別で測定する構成としてある。このため、本発明によれば、光ファイバを束ねる構成したり、別々に配置する構成とすることができ、配置する応用範囲が広がる。

【0068】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。なお、本実施形態は原子力産業で使用される放射性物質の測定例についてのものであり、例えば放射線の種類Aを中性子、BをX線、およびCをγ線とし、その弁別測定を行うための中性子ラジオグラフィについて説明する。

【0069】第1実施形態(図1、図2)

図1は、本実施形態による中性子ラジオグラフィの基本構成を示し、図2はその中の撮像手段の要部を示している。

【0070】図1に示すように、本実施形態では放射線源を中性子源1とし、この中性子源1を減速材としてのモデレータ2内に収納している。この中性子源1から照射される中性子ビームにX線またはγ線が含まれている場合がある。モデレータ2内には、中性子ビームの照射部位にコリメータ3を設置し、このコリメータ3によって収束された中性子ビームを、測定対象物4に照射するようにし、その測定対象物4の後方に、撮像手段としての撮像カセット5を配置している。これにより、測定対象物4を透過した放射線(中性子、X線またはγ線)が、撮像カセット5で放射線の信号として検出され映像化されるようにしてある。

【0071】そして本実施形態では、撮像カセット5を、図2に拡大して示すように、記録媒体として着脱可能なカラーフィルム6を用いた構成としてあり、このカラーフィルム6に、第1シンチレータ7、第2シンチレータ8および第3シンチレータ9が順次に配置されるようにしてある。これらの各シンチレータ7、8、9は、薄い構成とすることにより各発光が相互に透過できるようになっている。

【0072】第1シンチレータ7は、中性子放射線に対して感度が高い赤色発光体、例えばユウロピウム(Eu)で活性化した酸硫化ガドリニウム(Gd₂O₂S)によって構成し、厚さは、例えば40μmとしてある。

【0073】第2シンチレータ8は、X線に対して感度が高い緑色発光体、例えばテルビウム(Tb)で活性化した酸硫化ガドリニウム(Gd₂O₂S)によって構成し、厚さは数十μmとしてある。

【0074】第3シンチレータ9は、γ線に対して感度が高い青色発光体、例えば銀(Ag)で活性化した硫化亜鉛(ZnS)によって構成し、厚さは数十μmとしてある。

【0075】なお、これら第1、第2、第3シンチレータ7、8、9としては、前述した他の各種発光体を適用することが可能であり、その場合も本実施形態と同様の機能を得ることができる。また、発行色は、赤色、青色、緑色の組合わせを前述のように、種々変更することができる。

【0076】本実施形態では、第2、第3シンチレータ8、9で発生した緑色および青色光が、第1、第2シンチレータ7、8を透過してフィルム状に照射される際に、各シンチレータの情報が減算された状態で感光される。

【0077】なお、図2では、カラーフィルム6を各シンチレータ7、8、9に対して、矢印で示した放射線の入射側である左側にセットしたものとして示したが、カラーフィルム6は各シンチレータ7、8、9に対して、

放射線透過後の方向、つまり図の右側にセットしても良い。

【0078】本実施形態においては、カラーフィルム6をは現像して観察し、あるいはスキャナー等でデジタル的に処理して波長別に放射線の画像として見ることが可能になる。したがって、異なる放射線により発光する第1、第2、第3シンチレータ7、8、9の組合せ構成によって、従来できなかった1枚のカラー写真に短時間で記録するで、瞬時にカラー画像として放射線別の画像観察を行え、これにより測定対象物4への放射線の照射量を減少して検査できるようになり、被爆量の低減や測定時間の短縮等が図れる。

【0079】第2実施形態(図3～図5)

本実施形態は、第1実施形態で示したカラーフィルムに代えてカメラおよび光学レンズを用い、画像を直接観察する構成としたものである。図3は装置の全体構成を示し、図4は、要部を拡大して示している。

【0080】これらの図3および図4に示すように、本実施形態では、3板式CCDカメラ14を用い、異なる放射線により発光する第1、第2、第3シンチレータ7、8、9の情報を画像信号として得るとともに、この画像信号を3板式CCDカメラ14に接続された遠隔操作装置21でモニタできるようにしている。この遠隔操作手段21は、3種の着色光の情報から減算処理等を行う演算手段22、演算結果を表示できるモニタテレビ23および操作作用の入力手段24等によって構成されている。

【0081】本実施形態においては、遠隔操作で測定することができるので、被爆なく測定できるとともに、時間の短縮等が図れる。また、観測された信号がRGB信号として取り込まれるため、瞬時に画像処理してX線やγ線等のかぶりや照射エリアの照射むらを補正することができる。さらに、モニタテレビ23上で各色毎にそれぞれ分けて観察できるので、波長の異なる画像の位置合せが不要となる利点が得られる。

【0082】図5は本実施形態の変形例を示したものである。

【0083】この例では、単色の高感度CCDカメラ12を3台使用し、シンチレータ7、8、9で発光した異なる波長の光を、特定の波長のみを厳密に分ける第1、第2のダイクロイックミラー10、11で分光して観察できるようにしてある。

【0084】すなわち、第1のダイクロイックミラー10では第1シンチレータ7の光が反射されるとともに、第2、第3シンチレータ8、9の光が透過する。また、第2のダイクロイックミラー11では、第2シンチレータ8の光が反射するとともに、第3シンチレータ9の光が透過する。これら異なる光による映像を3第のCCDカメラ12で別々に得ることができるようになっている。

【0085】このような構成によれば、各CCDカメラ12で得られた映像を、それぞれ独立して観測することができ、また瞬時に画像処理してX線やγ線等のかぶりや照射エリアの照射むらを補正することも可能である。しかも、特定の波長のみを厳密に分けるダイクロイックミラーを使用する構成によって、信号に対するノイズの比率(SIN)を良好とすることができる。

【0086】第3実施形態(図6)

上述した第2実施形態では、CCDカメラおよび光学レンズを用いた構成であったが、本実施形態は、光学レンズに代えて光ファイバを用いた構成としたものである。図6は、その要部構成を示している。

【0087】この図6に示すように、本実施形態では、多数本の光ファイバ、例えば光入口側が光出口側よりも断面積が大きいテーパーファイバ13がバンドルされており、このテーパーファイバ13のバンドルによって、第3シンチレータ9と3CCDカメラ14の受光面とが、直接接続されている。

【0088】このような構成によっても前記第2実施形態とほぼ同様の効果が奏される。

【0089】第4実施形態(図7、図8)

本実施形態は、波長別に発光する複数のシンチレータを1本または複数本の光ファイバに取付け、その光ファイバ上の各シンチレータ部位から直接的に放射線を入力し、波長別の光情報を分光器によって分光することで放射線別の情報を得るようにしたものである。

【0090】図7は、第1の構成例を示している。

【0091】この第1の構成例では図7に示すように、1本の光ファイバ15に複数、感応する放射線および発光波長が互いに異なる第1、第2の二つのシンチレータ7a、8aが隣接位置に組込んである。

【0092】第1シンチレータ7aは例えばγ線に感応するものであり、外周側に熱中性子をカットする所定厚さのCd遮蔽体16が被覆してある。また、第2シンチレータ8aは、逆に中性子に感応するものであり、外周側にγ線をカットする所定厚さのPb遮蔽体17が被覆してある。そして、光ファイバ15の両端は、図示しない分光器に接続されている。

【0093】そして、第1のシンチレータ7aで得られた光は、Cd遮蔽体16によって熱中性子がカットされ、主にγ線による光信号となり、光ファイバ15の一端側(例えば図の左端側)を介して図示しない分光器に送られる。また、第2のシンチレータ7bで得られた光は、Pb遮蔽体17でγ線がカットされ、主に熱中性子による光信号となり、光ファイバ15の他端側(例えば右端側)を介して図示しない分光器にされる。

【0094】このような構成によると、光ファイバ15を例えばループ状に構成しておき、シンチレータ7a、7b部分を放射線領域に配置しておく等の手段によって、その放射線領域から離間した位置で遠隔的に放射線

観察を行うことができる。この場合、図示しないが、第3のシンチレータを前記第1第2シンチレータ7a、7bとともに組込んでおけば、さらに別の放射線情報を得ることができる。このとき、1本の光ファイバ15内で複数の光情報が伝送されることになるが、前記各実施形態と同様の補正を行うことによって、弁別することができる。なお、シンチレータは、1本の光ファイバの一個所に限らず、複数か所に離間して配置することも可能であり、その場合には複数の領域についての放射線観察を行うことができる。

【0095】図8は、本実施形態の他の構成例を示している。

【0096】この構成例では、図8に示すように、複数本、例えば3本の光ファイバ15の各先端に、それぞれ感応する放射線および発光波長が互いに異なる第1、第2、第3のシンチレータ7b、8b、9bが組込んである。各光ファイバ15の他端は、図示しない光検出器に接続してある。

【0097】第1、第2シンチレータ7b、8bは、図7に示したものとほぼ同様の構成で、それぞれCd遮蔽体16およびPb遮蔽体17で被覆されているが、第3シンチレータ9bは、内部に水素を含む樹脂を充填したCdカバー18で被覆してある。これにより、Cdカバー18で熱中性子をカットするとともに、水素を含む樹脂で速中性子を熱中性子化するようにになっている。

【0098】このような構成によると、3種の光を各光ファイバの一端側で取得し、それぞれ他端側の光検出器で検出することで、複数の放射線情報を得ることができる。この場合、第1、第2、第3シンチレータ7b、8b、9bで得られる情報にかぶりがある場合、前記第1実施形態と同様の補正を行うことによって、正確な情報とすることができる。

【0099】この構成例の場合には、シンチレータ7b、8b、9bをそれぞれ設けた各光ファイバ15の先端を任意の放射線領域に配置することで、遠隔観察を行うことができ、その際に複数光の補正を行うことによって正確な情報を得ることができるという効果が奏される。

【0100】なお、図8では3本の光ファイバを用いた例を示したが、場合によっては2本でもよく、また4本以上として実施することもできる。

【0101】他の実施形態

なお、以上の各実施形態では、シンチレータと受光素子との間にイメージインテンシファイヤを入れて感度を上げて使用することが可能である。

【0102】また、各実施形態の構成を相互に組合せる構成等も可能である。例えば、図8に示した樹脂層を、図2、図4、図5、図6等にした第2シンチレータ8と第3シンチレータ9との間に挿入する等の構成である。このような構成としても前記同様の機能が得られ

る。

【0103】さらに、以上の各実施形態の他、本発明は前述した各シンチレータ材料等を適宜に利用して対象あるいは環境等に応じて種々実施することができるものである。

【0104】

【発明の効果】以上説明したように、本発明による放射線弁別測定方法および放射線弁別測定装置によれば、異なる放射線により発光する第1、第2および第3のシンチレータとして、同じ主成分を持つシンチレータを組合わせることにより、1枚のカラー写真に短時間で記録したり、またCCDカメラで観測して瞬時にカラー画像で放射線別に画像化して見ることを可能にした。これにより測定対象物への放射線の照射量を減らした検査ができ、被爆量の低減および測定時間の短縮が可能となる。また、一回の測定でX線およびγ線による画像と中性子による画像とを同時に、または別々にも観測できるため、従来のX線撮影では適用できなかった、プラスチック製の爆弾等についても導火線とプラスチックの本体とを中性子ラジオグラフィで観測できるため、検査の質および精度向上の効果をえられる。さらに、放射線測定器として考えた場合、従来の放射線弁別方法に加えて新たに波長による弁別方法が加わるため弁別の組合せ方が多くなり、多くの検出器を一つにまとめて測定できるシステムを構築することにより、信頼性の向上とシステム簡素化の効果を期待できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態を示すもので、中性子ラジオグラフィの基本構成を示すシステム構成図。

【図2】図1の撮像カセット内の構成の一例を示す拡大図。

【図3】本発明の第2実施形態を示すもので、中性子ラジオグラフィの基本構成を示すシステム構成図。

【図4】図3の撮像カセット内の構成の一例を示す拡大図。

【図5】図4の変形例を示す図。

【図6】本発明の第3実施形態を示す図。

【図7】本発明の第4実施形態による第1構成例を示す図。

【図8】本発明の第4実施形態による第2構成例を示す図。

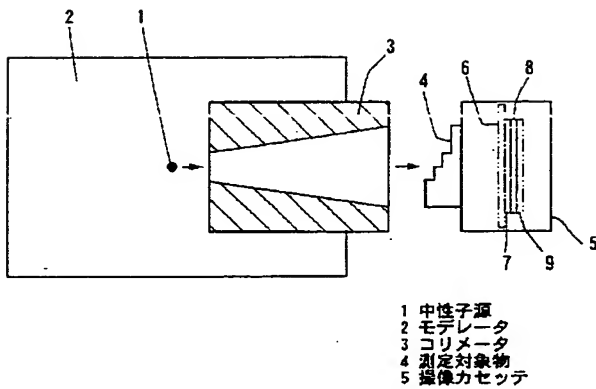
【符号の説明】

- 1 中性子源
- 2 モデレータ
- 3 コリメータ
- 4 測定対象物
- 5 撮像カセット
- 6 カラーフィルム
- 7, 7a, 7b 第1シンチレータ
- 8, 8a, 8b 第1シンチレータ

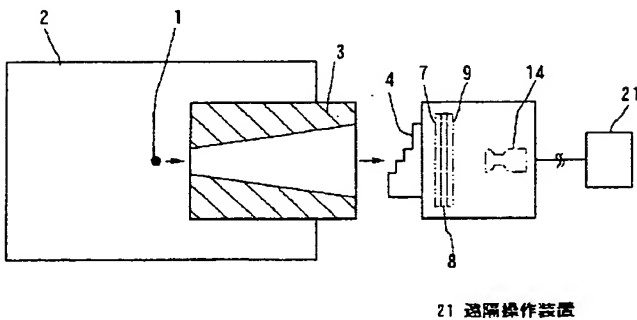
21

- 9, 9 a, 9 b 第1シンチレータ
 10, 11 ダイクロイックミラー
 12 高感度CCDカメラ
 13 テーパーファイバ
 14 3板式CCDカメラ
 15 光ファイバ
 16 Cd遮蔽体

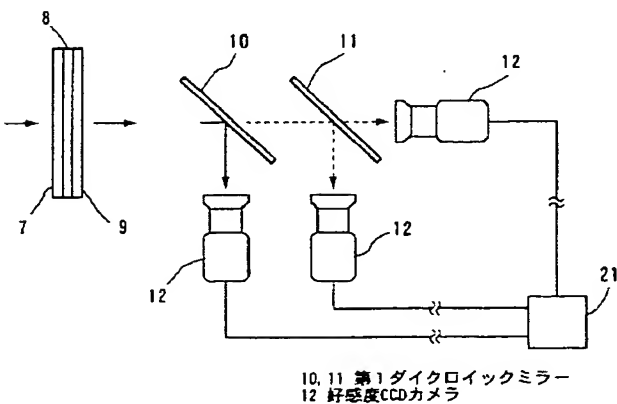
【図1】



【図3】



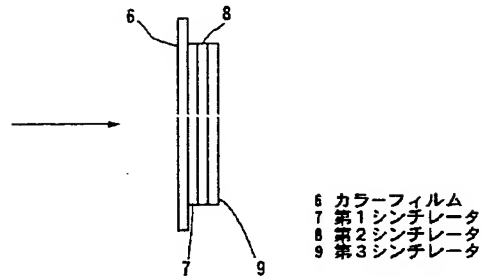
【図5】



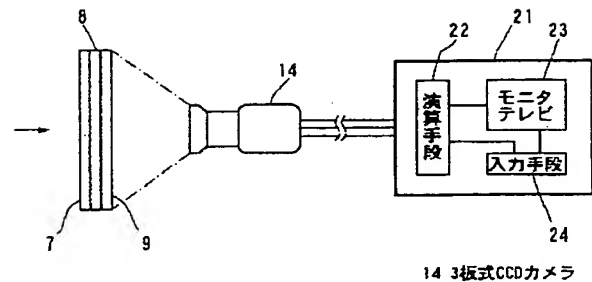
22

- 17 Pb遮蔽体
 18 Cdカバー
 21 遠隔操作装置
 22 演算手段
 23 モニタテレビ
 24 入力手段

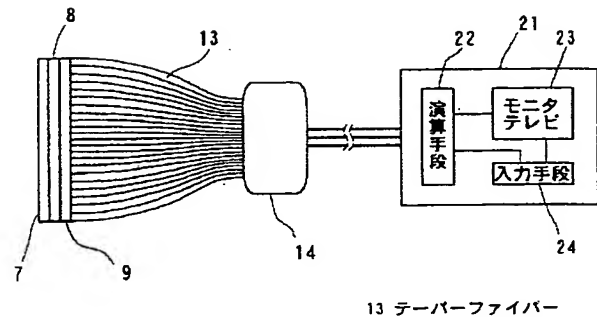
【図2】



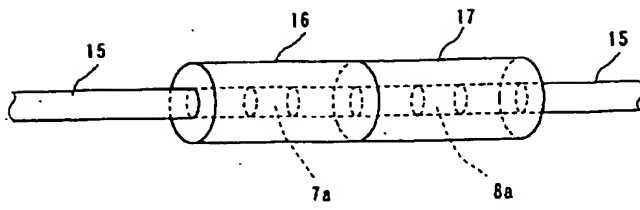
【図4】



【図6】

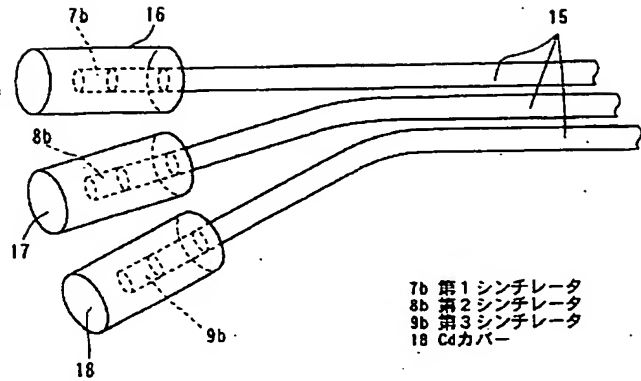


【図 7】



7a 第1シンチレータ
8a 第2シンチレータ
15 光ファイバ
16 Cd遮蔽体
17 Pb遮蔽体

【図 8】



7b 第1シンチレータ
8b 第2シンチレータ
9b 第3シンチレータ
18 Cdカバー

フロントページの続き

(72)発明者 小長井 主税
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株
式会社東芝横浜事業所内

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)